

LA FERTILIZACIÓN ORGÁNICA

FERNANDO POMARES GARCÍA

Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias

INTRODUCCIÓN

La incorporación de productos orgánicos al suelo a base de residuos ganaderos, agrícolas, forestales y urbanos fue una práctica habitual entre los primeros agricultores, quienes conocían muy bien la importancia de aportar tales residuos para mantener la fertilidad del suelo y obtener elevados rendimientos.

Sin embargo, la aparición de los fertilizantes químicos de síntesis a partir de finales del siglo XIX y primeras décadas del XX, por su menor coste, mayor facilidad de transporte y aplicación fue desplazando paulatinamente a los productos orgánicos en los programas de fertilización de los cultivos.

Inicialmente, dadas las reservas de materia orgánica acumuladas en los suelos durante el largo periodo de aportes, dió lugar a que los fertilizantes minerales mostraran una alta efectividad para aumentar el rendimiento de las cosechas.

Sin embargo, se ha demostrado que la realización de abonados continuados durante muchos años con productos exclusivamente minerales provocan en muchos casos un empobrecimiento de materia orgánica, dando lugar a un deterioro importante de la fertilidad del suelo y por consiguiente en su capacidad productiva.

CONSTITUYENTES DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO

En el suelo coexisten tipos de materia orgánica lo más diferentes que uno pueda imaginar, desde restos vegetales (hojas, ramillas, etc.) y restos de animales hasta microorganismos de distintos tamaños y funcionalidad. Por tanto la única característica común que tienen los compuestos orgánicos del suelo es la presencia de carbono como elemento constitutivo.

Como expresión definitoria de la materia orgánica del suelo podríamos indicar: “el conjunto de sustancias orgánicas de origen vegetal y animal en diferentes estados de degradación”.

La agrupación de la fracción orgánica del suelo en conjuntos de productos con una cierta homogeneidad daría lugar a los siguientes grupos:

1. Materia orgánica fresca: formada por los restos de vegetales, animales y microorganismos, parcialmente transformados que pueden ser separados del suelo mediante métodos mecánicos.
2. Biomasa microbiana: constituida por la materia orgánica correspondiente a los microorganismos del suelo.
3. Materia orgánica de transición: que incluiría los productos derivados de la degradación de los residuos orgánicos, pero que son susceptibles de ulteriores transformaciones.
4. Materia orgánica altamente transformada: constituida por las sustancias húmicas, que son compuestos muy estables y por tanto muy resistentes a la degradación. A este grupo también se le denomina “humus”. Este tipo de materia orgánica está estrechamente unido a las partículas minerales del suelo, no pudiendo separarse por métodos mecánicos.

Las sustancias húmicas se caracterizan por estar constituidas por un grupo muy heterogéneo de sustancias muy polimerizadas, de peso molecular relativamente alto, con propiedades coloidales e hidrofílicas muy acentuadas, de alta capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.), con alto contenido de grupos ácidos, los elementos constitutivos principales son carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, estando su estructura química constituida principalmente por un núcleo aromático de fenoles o quinonas, unido a cadenas laterales alifáticas de péptidos o sacáridos.

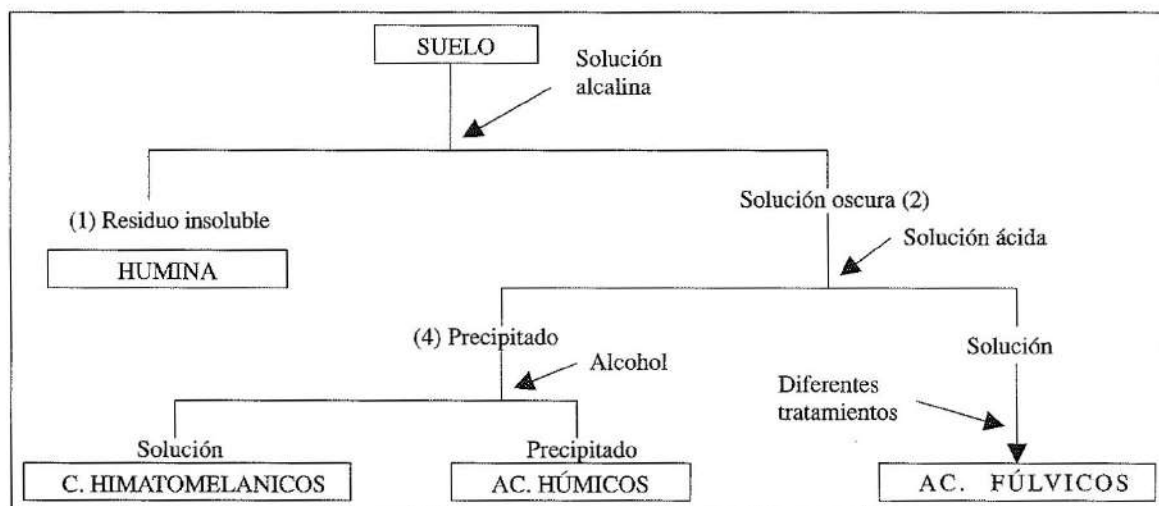
FRACCIONAMIENTO DE LAS SUSTANCIAS HÚMICAS

El sistema clásico de fraccionamiento aprovecha las diferencias de solubilidad en medio básico y ácido que tienen estas sustancias húmicas, como consecuencia de su distinta composición química.

Mediante sucesivos tratamientos con disoluciones alcalinas, ácidos y alcohol (Figura 1) se logra separar las sustancias húmicas en cuatro fracciones: ácidos fúlvicos, ácidos húmicos, ácidos himatomelánicos y huminas.

Al tratar con reactivos alcalinos las sustancias húmicas, se obtienen por una parte los ácidos fúlvicos, no precipitables en medio ácido tras su extracción, y los ácidos húmicos que precipitan en forma de flóculos de color pardo al tratar con un reactivo ácido después de su extracción. También se obtienen unos compuestos humificados denominados "huminas", que no son extraíbles con disoluciones alcalinas. Finalmente, se pueden presentar también ácidos himatomelánicos, que es una mezcla compleja de sustancias caracterizadas por su alta solubilidad en alcohol.

FIGURA 1
FRACCIONAMIENTO DE LA MATERIA ORGÁNICA
POR MÉTODOS ANALÍTICOS CLÁSICOS



- (1) Humina + material mineral + materia orgánica "fresca".
- (2) Fracción de ácidos húmicos + ácidos fúlvicos.
- (3) Fracción de ácidos fúlvicos + aminoácidos + azúcares sencillos.
- (4) Fracción de ácidos húmicos.

a) Ácidos húmicos

Estas sustancias están constituidas por moléculas muy complejas, muy polimerizadas con estructuras formadas por compuestos aromáticos, a los que se unen compuestos de estructura lineal como aminoácidos, péptidos, ácidos alifáticos, etc., formando un retículo esponjoso. Esta característica de los ácidos húmicos es la responsable de su contribución a la estabilidad de los agregados del suelo y a su alta higroscopicidad contribuyendo a aumentar la capacidad de retención de agua en el suelo.

La presencia de los grupos ácidos: hidroxifenólico (-OH) o carboxílico (-COOH) aunque más baja que en los ácidos fúlvicos es importante en los ácidos húmicos determinando, entre otros, su efecto acidificante, su contribución a aumentar la capacidad de intercambio catiónico, o a la formación de complejos organo-metálicos con los microelementos, así como la persistencia de los plaguicidas en el suelo.

b) Ácidos fúlvicos

Sus unidades estructurales son similares a las de los ácidos húmicos; diferenciándose de las de éstos en una menor proporción de estructuras aromáticas y mayor predominio de las cadenas laterales. Estas características, unido a su menor peso molecular, explican la mayor solubilidad de los ácidos fúlvicos con respecto a los ácidos húmicos.

Otra diferencia importante de los ácidos fúlvicos respecto a los ácidos húmicos es su mayor contenido en grupos funcionales causantes de la acidez: grupos carboxílicos (R-COOH), alcohólicos (R-OH) y fenólicos (R-OH). Esta elevada densidad de cargas aniónicas propician la formación de complejos estables con cationes polivalentes (Fe^{+3} , Al^{+3} , Cu^{+2} , etc.) de gran repercusión en la movilidad de los micronutrientes en el suelo.

c) Huminas

Presentan una difícil extracción en el suelo. Se pueden encontrar diversos tipos: “humina microbiana”, estaría constituida por compuestos excretados por la flora microbiana; “humina de neoformación”, resultante de los procesos de inmovilización por cationes; y “humina estabilizada”, obtenida a partir de la evolución de los ácidos húmicos mediante distintas reacciones de polimerización.

Así pues, en función de la complejidad estructural de las sustancias húmicas el orden creciente quedaría ácidos fúlvicos < ácidos húmicos < huminas. (Tabla 1).

TABLA 1.
PROPIEDADES GENERALES DE LAS SUSTANCIAS HÚMICAS.

PROPIEDADES	ÁCIDOS FÚLVICOS	ÁCIDOS HÚMICOS	HUMINAS
Color	Amarillo a pardo	Pardo a negro	Negro
Peso molecular	Bajo	Medio	Alto
% de carbono	40-50	55-60	>55
% de nitrógeno	<4	3-4	>4
% de oxígeno	44-48	33-36	32-34
Grupos funcionales (meq/g)			
Acidez total	10-14	6-10	5-6
Grupos carboxílicos (COOH).	8-9	2-5	3-4
Grupos metoxílicos (OCH ₃)	<0,5	<0,5	<0,5
Grupos alcohólicos (OH)	3-6	<1-4	-
Grupos fenólicos (OH)	3-6	2-6	2
Grupos carbonil (C=O)	1-3	1-5	5-6

IMPORTANCIA DE LA MATERIA ORGÁNICA

La materia orgánica del suelo es un recurso de capital importancia como pilar básico de la fertilidad del mismo. Tal era la evidencia de esa relación que hasta que el químico Justus von Liebig (1941) no demostró que la nutrición vegetal descansa en los nutrientes esenciales (carbono, oxígeno, nitrógeno, fósforo, potasio, etc.) que las plantas absorben a través del sistema radicular o foliar formando los distintos compuestos básicos del metabolismo vegetal, se creía que el humus era esencial para las plantas.

Por ello, se puede afirmar con rotundidad que el humus a pesar de no ser imprescindible para la nutrición mineral de las plantas, sí que desempeña un papel relevante, al influir en un conjunto de propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, y asimismo, en cultivos hidropónicos su presencia contribuye a mejorar la nutrición vegetal y el desarrollo de las plantas.

Entre los efectos de la materia orgánica sobre las propiedades físicas del suelo cabe destacar: un aumento de la estabilidad estructural, y mejora de la permeabilidad y capacidad de retención de agua (Tabla 2).

En cuanto a los efectos provocados por la materia orgánica (humus) sobre las propiedades químicas del suelo se centran principalmente en: aumentos

TABLA 2.
EFEECTO DE DIFERENTES ENMIENDAS APLICADAS ANUALMENTE DURANTE CINCO AÑOS A UNA SECUENCIA DE CULTIVOS (2 AÑOS) Y PATATA (3 AÑOS). (FUENTE: GÓMEZ SERRANO, 1995).

Tratamiento	Densidad Aparente (g/cm ³)	Agregados entre 2 - 5 mm (%)	Agregados resistentes al baño de ultrasonidos entre 1 y 2 mm (%)	Retención de agua a 0,1 Kpa (%)
Testigo ⁽¹⁾	1.30 bc	27.0 a	40.3 a	41.2 ab
Ac. Húmicos ⁽²⁾	1.29 abc	28.8 ab	40.9 a	40.8 a
Vermicompost ⁽³⁾	1.31 c	31.7 ab	40.8 a	40.8 a
Lodos de Depuradora ⁽⁴⁾	1.27 ab	36.9 abc	47.5 b	43.4 b
Compost de RSU ⁽⁵⁾	1.26 a	39.5 c	48.5 b	45.6 b
Estiércol de oveja ⁽⁶⁾	1.28 abc	41.0 c	48.8 b	43.0 ab

1. Testigo.
2. Producto comercial, 100 l/ha.
3. Vermicompost comercial, 2.400 kg/ha.
4. Lodos de depuradora, 24.000 kg/ha.
5. Compost de RSU, 24.000 kg/ha.
6. Estiércol de oveja, 24.000 kg/ha.

del poder amortiguador del suelo frente a variaciones bruscas del pH, de la capacidad de intercambio catiónico, de la reserva de nutrientes (nitrógeno, fósforo, azufre, etc.) (Tabla 3).

Y sobre las propiedades biológicas, la materia orgánica causa efectos importantes como: regulación del estado oxido-reductor del suelo, favoreciendo el intercambio gaseoso, propiciando la formación de CO_2 , y estimulando la actividad biológica y el desarrollo de las plantas (Tabla 4).

TRANSFORMACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA EN EL SUELO

La materia orgánica del suelo está sometida a diferentes procesos de transformación: descomposición (degradación), humificación y mineralización.

a) Descomposición: En esta etapa los constituyentes de la materia orgánica fresca sufren un ataque de los microorganismos del suelo dando lugar a un desprendimiento de energía, agua, anhídrido carbónico, sustancias nutritivas, minerales (amoníaco, fosfatos, sulfatos, etc.) y orgánicas (fenoles, quinonas, proteínas, etc.) que pueden contribuir a la formación de humus o actuar como nutrientes.

b) Humificación: en esta etapa se producen una serie de reacciones bioquímicas de polimerización entre algunos de los productos resultantes en la etapa de degradación (fenoles, quinonas, proteínas) y algunos productos excretados por la flora microbiana, dando lugar a unas moléculas complejas de elevado peso molecular que son las sustancias húmicas.

Coefficiente isohúmico (K_1): representa el porcentaje de materia seca aportada que se transforma en humus. Para conseguir una humificación elevada hacen falta cuatro condiciones básicas: altas aportaciones de productos orgánicos ricos en lignina, celulosa, etc.; elevada población microbiana; adecuada aireación del suelo; y humedad del suelo intermedia entre los extremos de encharcamiento y sequía. En las Tablas 5 y 6 aparecen los valores del coeficiente isohúmico (K_1) de diferentes productos orgánicos.

c) Mineralización: consiste en el proceso mediante el cual se mineraliza el humus acumulado en el suelo, liberando cantidades importantes de nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo, azufre, etc.

TABLA 3.
EFFECTO DE DIFERENTES ENMIENDAS APLICADAS ANUALMENTE DURANTE CINCO AÑOS A UNA SECUENCIA DE CULTIVOS (2 AÑOS) Y PATATA (3 AÑOS) . (FUENTE: CLIMENT PONS, 1994).

Tratamiento	pH	Materia orgánica (%)	Nitrógeno orgánico (%)	Fósforo asim. (ppm)	Fósforo interec. (ppm)
Testigo ⁽¹⁾	8.17 b	1.31 a	0.083 a	48 a	234 a
Ac. Húmicos ⁽²⁾	8.18 b	1.47 a	0.086 a	48 a	246 a
Vermicompost ⁽³⁾	8.20 b	1.40 a	0.086 a	54 a	230 a
Lodos de Depuradora ⁽⁴⁾	7.92 a	2.05 b	0.124 b	107 c	250 a
Compost de RSU ⁽⁵⁾	8.15 b	2.34 c	0.154 c	70 b	308 b
Estiércol de oveja ⁽⁶⁾	8.13 b	2.22 bc	0.136 b	79 b	409 c

1. Testigo.
2. Producto comercial, 100 l/ha.
3. Vermicompost comercial, 2.400 kg/ha.
4. Lodos de depuradora, 24.000 kg/ha.
5. Compost de RSU, 24.000 kg/ha.
6. Estiércol de oveja, 24.000 kg/ha.

TABLA 4.
EFEECTO DE DIFERENTES ENMIENDAS APLICADAS ANUALMENTE DURANTE CINCO AÑOS A UNA
SECUENCIA DE CULTIVOS (2 AÑOS) Y PATATA (3 AÑOS) . (FUENTE: ALBIACH VILA, 1997).

Tratamiento	Deshidrogenasa	Ureasa	Arilsulfatasa	Fosfatasa Alcalina	Fosfodiesterasa
Testigo ⁽¹⁾	70.7	69.3	16.6	112.3	25.3
Ac. Húmicos ⁽²⁾	80.3	71.9	17.2	124.7	27.4
Vermicompost ⁽³⁾	63.1	66.1	16.4	107.0	24.2
Lodos de Depuradora ⁽⁴⁾	97.5	86.0	16.2	159.6	29.0
Compost de RSU ⁽⁵⁾	177.7	135.2	36.9	280.7	51.8
Estiércol de oveja ⁽⁶⁾	118.8	127.7	30.1	187.7	38.5

1. Testigo.
2. Producto comercial, 100 l/ha.
3. Vermicompost comercial, 2.400 kg/ha.
4. Lodos de depuradora, 24.000 kg/ha.
5. Compost de RSU, 24.000 kg/ha.
6. Estiércol de oveja, 24.000 kg/ha.

TABLA 5.**VALORES DEL COEFICIENTE ISOHÚMICO (K_1) SEGÚN GROSS Y HÉNIN.**

K_1 (GROSS)		K_1 (HÉNIN)	
Estiércol muy maduro.....	0,40 a 0,50	Estiércol maduro.....	0,50
Paja.....	0,10 a 0,20	Estiércol pajoso.....	0,20 a 0,40
Restos secos de cosecha....	0,10 a 0,20	Restos vegetales pajosos.....	0,08 a 0,15
Restos verdes de cosecha...	0,20 a 0,30		

Coefficiente de mineralización (K_2): significa el porcentaje de humus que se mineraliza en un periodo de tiempo determinado.

El ritmo de mineralización del humus en el suelo está fuertemente condicionado al tipo de suelo, a su manejo, al clima, etc. En general, puede considerarse que en los suelos arenosos el coeficiente de mineralización del humus oscila entre 2-3% y los arcillosos entre 0,5-1,5%, variando los valores medios entre 1-2%. Los valores de K_2 para diferentes regiones españolas se indican en la Tabla 7.

Como el humus formado a partir de los restos de las cosechas no suele ser suficiente para compensar el que se pierde por mineralización, deben aportarse productos orgánicos al suelo de forma más o menos periódica.

TABLA 6.

COEFICIENTES ISOHÚMICOS K_1 DE DIVERSOS RESIDUOS VEGETALES Y ABONOS ORGÁNICOS

ESPECIE	AUTOR			
	SOLTNER (1990)	MULLER (1982)	BOIFFIN <i>et al.</i> (1986)	DELAS Y MOLOT (1983)
Trigo/cebada/avena				
· Raíces.....	0,15	0,08	0,15	-
· Partes aéreas.....	0,15	0,08	0,08	0,14
Maíz				
· Raíces.....	0,15	0,06	0,15	-
· Partes aéreas.....	0,12	0,06	0,12 (3)	0,2
Remolacha				
· Raíces.....	0,15	-	0,15	-
· Partes aéreas.....	0,08	0,04	0,08	-
Patata				
· Raíces.....	0,15	-	0,15	-
· Partes aéreas.....	0,00	-	-	-
Colza				
· Raíces.....	0,15	0,10	0,15	-
· Partes aéreas.....	0,15	0,10	0,12	-
Restos de prados.....	-	0,15	-	-
Guisante/judía/haba				
· Raíces.....	0,15	-	0,15	-
· Partes aéreas.....	0,08	-	0,08	-
Lino				
· Raíces.....	0,15	-	-	-
· Partes aéreas.....	0,20	-	-	-
Abono en verde				
· Raíces.....	0,15	-	0,15	-
· Partes aéreas.....	0,05-0,08 (2)	0,01	0,00	-
Alfalfa				
· Raíces.....	0,20	-	0,15	-
· Partes aéreas.....	0,12	0,15	0,12	-
Abono orgánico				
Estiércol bien maduro.....	0,50	0,3-0,5	0,30	0,32
Estiércol semi-maduro.....	0,40	-	0,30	0,32
Estiércol fresco con paja...	0,25	0,2-0,4	0,30	0,32
Compost de basuras.....	0,25	-	-	-
Fango depuradora urbana..	0,20	-	0,20	-
Turba.....	1,00	-	-	-
Sarmientos/orujo.....	-	-	-	0,37
Restos forestales.....	-	-	-	0,31

(1) La K_1 de este cuadro, tiene el significado clásico, se refiere a la fracción de materia seca que se humifica.

(2) Según que el abono verde sea respectivamente poco o muy lignificado.

(3) 0,10 para la base de los tallos no recolectado en el maíz para ensilar.

Fuente: Adaptado de SAÑA (1996).

TABLA 7.

VALORES DE K_2 PARA DIFERENTES REGIONES ESPAÑOLAS.

ZONA		K_2
Andalucía occidental y sur de Extremadura	Secano	0,020-0,022
	Regadío	0,030
Andalucía oriental	Secano	0,010-0,011
	Regadío	0,030
Castilla-La Mancha, Levante, Valle del Ebro y centro de Extremadura	Secano	0,008
	Regadío	0,020
Meseta norte, norte de Extremadura, cornisa Cantábrica y Galicia	Secano	0,005-0,015
	Regadío	0,020

Fuente: TAMÉS (1975)

BALANCE DEL HUMUS EN EL SUELO

El nivel de materia orgánica que tiene el suelo en un momento dado es la resultante de las ganancias y las pérdidas de humus. De forma que según la magnitud de los aportes de biomasa o pérdidas de humus tendremos una situación de enriquecimiento o empobrecimiento.

Ganancia de humus

En base al modelo de Henin y Dupuis (1945) la cantidad de humus formada en un año se puede obtener a partir de la expresión:

$$\text{MO humificada} = K_1 \times \text{MO aportada}$$

siendo K_1 : coeficiente isohúmico, que básicamente depende del material orgánico aportado. Teniendo en cuenta que en general cuanto más ricos son en lignina mayor es su K_1 , y por el contrario cuanto mayor es el contenido en azúcares, celulosas y compuestos nitrogenados mayor es su mineralización, y menor su rendimiento en humus.

Pérdidas

Según el modelo de Henin y Dupuis (1945) la cantidad de humus mineralizado durante un año depende por una parte del nivel de materia orgánica

contenida en el suelo, y por otra de la tasa de mineralización (K_2), pudiendo cuantificarse a partir de la siguiente expresión:

$$\text{MO mineralizada} = K_2 \times \text{MO inicial}$$

Cabe indicar que a diferencia del coeficiente isohúmico K_1 que está estrechamente ligado al tipo de productos orgánicos aportados, y particularmente a su relación C/N, el coeficiente de mineralización K_2 , por el contrario, está más condicionado a las características climáticas y edáficas de la propia parcela.

CÁLCULO DE LAS NECESIDADES DE HUMUS

En el cálculo de las necesidades de humus para un suelo pueden presentarse dos tipos de circunstancias: que el nivel de materia orgánica se considere adecuado, en cuyo caso sólo hay que aportar una dosis de restitución; o que el nivel sea inferior al óptimo, circunstancia que exigirá incrementar el nivel de humus hasta un valor adecuado.

Dosis de restitución: $H \text{ NECESARIO} = \text{PESO SUELO} \times \frac{\text{MO EXISTENTE} \times K_2}{100}$

Ejemplo: Suelo arcilloso, M.O. 1,9 %, K_2 : 1,5 %

$$H_n = 1800000 \text{ kg/Ha} \times 1,9/100 \times 1,5/100 = 513 \text{ kg/Ha} = 43 \text{ kg/hg}$$

Ejemplo: Suelo arenoso, M.O. 1,1 %, K_2 : 3,0 %

$$H_n = 1800000 \text{ kg/Ha} \times 1,1/100 \times 3,0/100 = 594 \text{ kg/Ha} = 50 \text{ kg/hg}$$

H_n : es el humus que hay que aportar para que el nivel de materia orgánica no disminuya.

Dosis de enriquecimiento: $H_n = \text{PESO SUELO} \times (\text{MO OPTIMA} - \text{MO EXISTENTE})$

Ejemplo: Suelo arcilloso, M.O. 1,9 %, para alcanzar 2,5 %

$$H_n = 1800000 ((2,5 - 1,9)/100) = 10800 \text{ kg/Ha} = 900 \text{ kg/hg}$$

Ejemplo: Suelo arenoso, M.O. 1,1 %, para alcanzar 1,5 %

$$H_n = 1800000 ((1,5 - 1,1)/100) = 7200 \text{ kg/Ha}$$

Hn: es el humus que hay que aportar para elevar el nivel de materia orgánica hasta un valor óptimo.

ENMIENDAS ORGÁNICAS

Son productos de origen animal, vegetal o mezcla de ambas que se aportan al suelo con la finalidad básica de mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Estos productos además de aportar materia orgánica, constituyen una fuente importante de nutrientes (Tabla 8). Sin embargo, estos nutrientes no se encuentran en forma asimilable para las plantas. De ahí que sea necesaria la mineralización de la materia orgánica para la liberación de los nutrientes en formas minerales asimilables para los cultivos.

Dentro de la gama de productos (abonos y enmiendas) orgánicos cabe destacar los siguientes: estiércoles, purines, compost de residuos sólidos urbanos, lodos de depuradoras, vermicompost, orujo, etc.

Los estiércoles están constituidos por los excrementos sólidos y líquidos de animales, generalmente mezclados con los materiales que se usan de cama (paja, serrín, virutas, cascarilla de arroz, etc.) y que se encuentran en un estado más o menos avanzado de fermentación.

La composición química del estiércol es muy variable dependiendo del tipo y edad del animal, alimentación dada, tipo de cama, manejo, etc. En esencia, la calidad del estiércol viene dada por su contenido en materia orgánica, el grado de fermentación, el rendimiento en humus, contenido en nutrientes, etc. Así, en general el estiércol de oveja es superior a los otros estiércoles ya que suelen presentar un alto rendimiento en humus además de resultar relativamente ricos en nutrientes esenciales; el estiércol de aves (gallinaza) se caracteriza por su alto contenido en nitrógeno pero con un bajo rendimiento en humus; siendo las características del estiércol de vaca intermedias entre las de los anteriores.

TABLA 8.

CONTENIDO DE NUTRIENTES, REFERIDOS A MATERIA SECA, EN DISTINTOS PRODUCTOS ORGÁNICOS.

PRODUCTO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Estiércol de bovino	1,0-2,0	0,5-1,3	1,5-2,0
Estiércol de oveja	2,0-2,5	0,7-2,0	2,0-4,0
Estiércol porcino	1,5-2,0	0,6-1,4	1,5-1,8
Estiércol caballo	1,7	1,8	1,8
Estiércol conejo	1,6	2,1	2,7
Gallinaza	2-5	3-15	2-2,5
Compost de residuos sólidos urbanos	1,2	1,1	0,4
Lodos de depuradora	1-3	1-3	0,1-0,2
Purines de porcino (s.m.h.)	0,4-0,6	0,3-0,5	0,2-0,4

ESTIÉRCOLES

Entre las ventajas de los estiércoles cabe indicar: el precio de coste suele ser relativamente bajo (en comparación con los productos ensacados), mientras que los inconvenientes destacan: 1) el alto coste de transporte y aplicación, 2) la presencia de malos olores, 3) la elevada humedad, 4) la reacción básica que presentan en el suelo algunos estiércoles como la gallinaza.

La tasa de mineralización del nitrógeno de los estiércoles depende en gran medida de la procedencia del mismo. Así, en el estiércol de oveja (sirle), vaca, porcino, y caballo presentan una tasa de mineralización en el 1^{er} año más alta que la gallinaza (Tabla 9).

Ejemplo: estiércol oveja, 2% Norg, 20000 kg/Ha, 50% H; Mseca = 10000 kg/Ha, mineralización = 30 %

$20000 \times 2/100 \times 50/100 \times 30/100 = 60 \text{ kg N/Ha}$

Queda un 70% de N para los años sucesivos.

Ejemplo: gallinaza, 3% Norg, 20000 kg/Ha, 50% H; K₂ = 70% 1^o año

$20000 \times 3/100 \times 50/100 \times 70/100 = 210 \text{ kg N/Ha}$

Queda un 30 % de N para los años sucesivos.

TABLA 9.

TASAS DE MINERALIZACIÓN DEL NITRÓGENO DE DIFERENTES PRODUCTOS ORGÁNICOS

Tipo de producto	% N mineralizado 1 ^{er} año
Estiércol de bovino	20-30 %
Estiércol de oveja o sirle	40-50 %
Estiércol de porcino	40-50 %
Gallinaza	60-90 %
Compost de residuos sólidos urbanos	15-20 %
Lodos de depuradora	30-40 %

COMPOST DE RESIDUOS URBANOS

Compost es todo producto obtenido al someterse los residuos orgánicos a una fermentación aerobia y exotérmica, es decir en condiciones de aireación y a elevadas temperaturas, si bien en la práctica se suele asignar el término “compost” a los productos derivados de los residuos sólidos urbanos (basuras).

Estos productos, en el pasado, no han gozado de una buena aceptación general entre los agricultores, porque solían presentar un alto contenido de materiales inertes (vidrios, plásticos) o metales pesados como boro, plomo, cadmio, etc.; no obstante, con las innovaciones tecnológicas introducidas durante los últimos años en los sistemas de cribado y molturación, se puede lograr obtener un producto con bajo contenido en inertes, que unido a su alto contenido en materia orgánica y bajo coste resulta interesante en cultivos como vid, cítricos, frutales, etc.

LODOS DE DEPURADORAS

Se obtienen al separar la fracción sólida de la líquida en el proceso de depuración de las aguas residuales. Se trata de productos cuya composición dependerá de la procedencia de las aguas residuales así como del tratamiento dado a los lodos. Así, pueden distinguirse **lodos frescos** (sin estabilizar) y **lodos digeridos**, que a su vez se dividen en lodos **aerobios** (son los que se

someten a una digestión aeróbica) y lodos **anaerobios** (obtenidos mediante una digestión anaerobia).

En general, estos productos son ricos en materia orgánica, en nitrógeno, fósforo y microelementos. No obstante, su utilización en agricultura puede acarrear dos riesgos importantes de contaminación: a) gérmenes patógenos, b) metales pesados tales como cinc, cobre, níquel, cadmio, plomo, cromo, etc. De ahí que para evitar estos riesgos potenciales se deben seguir una serie de criterios como:

- 1) Compostar los lodos que se pretenda utilizar como abono en agricultura.
- 2) En cultivos de hortalizas de consumo fresco dejar transcurrir un mínimo de 10 meses desde la incorporación de los lodos hasta la recolección.
- 3) Asegurarse de que el nivel de metales pesados contenido en los lodos sea aceptable para utilizarse en agricultura (en general, los lodos de depuradoras que tratan sólo aguas domésticas son adecuados para utilizarse como abono, pero cuando los lodos se obtienen a partir de vertidos industriales hay que conocer su análisis antes de aportarse).
- 4) Realizar aplicaciones a dosis bajas o moderadas para evitar que a largo plazo los metales pesados acumulados en el suelo puedan ser tóxicos para las plantas, flora microbiana o seres humanos.
- 5) Los lodos de depuradora se deben utilizar preferentemente en cultivos leñosos como vid, cítricos, frutales, etc.

La Orden 1310/1990 (Boletín del 29.10.90), establece los niveles máximos de metales pesados en el suelo, en los lodos, así como los aportes máximos (Tabla 10).

VERMICOMPOST (Humus de lombriz)

Son los productos obtenidos al tratar los residuos orgánicos (estiércoles, residuos agrícolas, residuos sólidos urbanos, lodos de depuradora, etc.) mediante lombrices rojas de California (*Eisenia foetida*). El vermicompost, mal llamado humus de lombriz, está constituido por los excrementos de los gusanos y por la materia orgánica que no ha sido ingerida por éstos. El valor agronómico de estos abonos depende, en gran medida, del tipo de residuos utilizados como sustrato de las lombrices, si bien en procesos de lombricultura se produce un aumento de la fracción asimilable de los nutrientes esenciales, especialmente nitrógeno y fósforo, una estabilización de la fracción orgánica, un enriquecimiento de flora microbiana y en reguladores del crecimiento (gibere-

linas, citoquininas, auxinas, etc.), y la desaparición de los malos olores.

En los últimos años se han publicado varios artículos sobre las excelencias de estos abonos; sin embargo, los resultados experimentales que se van obteniendo parecen indicar que a precios altos resultará difícil que el lombricompost o abono de lombriz pueda convertirse en una alternativa importante de los productos orgánicos convencionales.

TABLA 10.

NIVELES ADMISIBLES DE METALES PESADOS EN EL SUELO Y EN LOS LODOS DE DEPURADORAS.

METAL	Nivel Máximo (ppm) en el suelo	Nivel Máximo (ppm) en los lodos	Aportación Máxima kg/Ha y año
	(1) (2)	(1) (2)	
Cadmio (Cd)	1 – 3	20 – 40	-
Cobre (Cu)	50 – 210	1000 – 1750	12
Níquel (Ni)	30 – 112	300 – 400	3
Plomo (Pb)	50 – 300	750 – 1200	15
Cinc (Zn)	150 – 450	2500 – 4000	30
Mercurio (Hg)	1 – 1,5	16 – 25	0,10
Cromo (Cr)	100 – 150	1000 – 1500	3

(1) Suelos con pH menor de 7

(2) Suelos con pH mayor de 7

ORUJO DE UVA

Está constituido por los residuos de la uva después de la extracción del mosto en las bodegas vitivinícolas.

Estos productos pueden ser muy ricos en materia orgánica por lo que pueden transformarse en un estiércol de buena calidad tras el correspondiente compostaje. La acidez de este producto puede ser un obstáculo para los microbios que intervienen en el compostaje; por lo que es conveniente neutralizarla con cal viva o apagada a una dosis de unos 15-20 kg/Tm.

PURIN DE CERDO

La composición del purín de cerdo depende en gran medida del régimen alimenticio de los animales; asimismo depende también del tipo de explotación y del grado de dilución

La riqueza en nutrientes del purín presenta unos valores medios de: nitrógeno 6 por mil, fósforo 5,2 por mil y potasio 3,5 por mil. En relación al nitrógeno, del 50 al 70% se encuentra en forma amoniacal y el resto en forma orgánica.

De ahí que se puedan producir efectos fitotóxicos debidos al amoniaco cuando se aporten dosis excesivas de purines. Otro aspecto negativo de los purines de cerdo es su elevado contenido en cobre y cinc, debido a que estos elementos se añaden a los piensos que se suministran a estos animales.

ÁCIDOS HÚMICOS LÍQUIDOS

En los últimos 20-30 años han aparecido en el mercado de los productos fertilizantes una serie de productos líquidos: “sustancias húmicas”, “ácidos húmicos”, etc. que por diferentes motivos (presión de las casas comerciales, insuficiente información técnica, escasez de investigación y experimentación, etc.) han suscitado entre los profesionales del sector una cierta confusión y reticencia a su utilización agrícola.

Las referidas sustancias húmicas pueden obtenerse a partir de residuos orgánicos de muy diverso origen: lignitos, residuos animales, vegetales, turbas, residuos agroalimentarios, etc.

Al aplicar las técnicas analíticas usuales del fraccionamiento de la materia orgánica del suelo a tales residuos se pueden obtener las tres fracciones de las sustancias húmicas: ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH) y huminas.

Las diferencias básicas entre los dos primeros grupos de sustancias, los conocidos ácidos fúlvicos y ácidos húmicos son que estos últimos presentan un mayor peso molecular y mayores contenidos de carbono y nitrógeno, mientras que los ácidos fúlvicos tienen unos niveles superiores de oxígeno, acidez y capacidad de intercambio catiónico.

Modalidades de aplicación de las sustancias húmicas

Estas sustancias húmicas suelen aportarse según varias modalidades: apli-

caciones foliares, en hidroponía y al suelo a través de sistemas de riego localizado.

En aplicaciones foliares

En aplicaciones foliares las sustancias húmicas han mostrado efectos positivos en algunas especies vegetales ornamentales como *Begonia semperflorens* provocando aumentos en el peso fresco del tallo y de la raíz.

Otros autores, Brownell *et al.* (1987) utilizando dos extractos de leonardita lograron también resultados positivos en cultivos como el tomate de conserva (10,5% de incremento de rendimiento), en algodón (11% de aumento de producción), y en vid (con incrementos desde 3 a 70%).

En hidroponía

En condiciones de cultivo hidropónico son numerosos los estudios realizados, poniéndose de manifiesto que éstas son las condiciones más adecuadas para lograr respuestas positivas en las plantas a la adición de sustancias húmicas (Tabla 11).

TABLA 11.
EFFECTO BENEFICIOSO DE LAS SUSTANCIAS HÚMICAS DE DISTINTAS FUENTES EN EL DESARROLLO DE LAS PLANTAS EN HIDROPONÍA.

Especie de planta	Sustancia húmica y fuente	Especie de planta	Sustancia húmica y fuente
Pasto	AH de compost	Tabaco	AH/AF de suelo
Trigo	AH comercial	Pimienta verde	AH de lignitos
Girasol	Extracto de agua y turba	Trigo	AH comercial
Mostaza	AH de lignito	Lino	AH de turba
Judía	AH & AF de suelo	Pepino	AF de suelo
Maíz	AH de turba	Tomate	AH de suelo y carbón
Tomate	AH sintéticos	Cereales	AH de suelo, turba y carbón
Maíz	AH/AF de suelo	Tomate	AH/AF de suelo de jardín
Trigo	AH de suelo, esquisto, turba	Varios	AH comercial
Maíz	AH de suelo, turba	Maíz	AH de suelo
Tomate	AF de suelo	Soja	AH/AF de suelo
Trigo	AH de suelo		

(Vaughan and Malcolm, 1985).

En aplicaciones al suelo

Los resultados de los experimentos realizados en condiciones de campo con suelos naturales no son tan claros como los de hidroponía, constatándose en bastantes casos ausencia de respuesta. Los estudios realizados en cultivos hortícolas con riego localizado y provistos de sustratos pobres en materia orgánica son las condiciones más propicias para obtener buenos resultados con la aplicación de tales sustancias húmicas.

Efectos que provocan las sustancias húmicas sobre las plantas

La aportación de sustancias húmicas en sus diversas modalidades de aplicación y de productos posibles provoca diferentes efectos sobre los vegetales, pudiendo destacarse como más relevantes los que siguen:

- Incremento en el desarrollo radicular, tanto a nivel de biomasa como de capacidad de absorción de los pelos radiculares.
- Aumento en crecimiento de la parte aérea.
- Incremento del área foliar.
- Mayor floración.
- Mayor capacidad de recuperación de las plantas sometidas a condiciones adversas: helada, sequía, ataque de insectos, enfermedades, etc.
- Aumento en la absorción de nutrientes.

Tienen un escaso efecto sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

Ejemplo: Suelo 2% M.O., 100 l/Ha, producto comercial con 25% sustancias húmicas;

$$1 \text{ Ha suelo} = 1800000 \text{ kg}$$

$$10000 \text{ m}^2 \times 0,15 \times 1,2 = 180000 \text{ kg}$$

$$H_{\text{inicial}} = 1800000 \times 2/100 = 36000 \text{ kg}$$

$$H_{\text{aportado}} = 100 \times 25/100 = 25 \text{ kg}$$

$$H_{\text{final}} = ((36000 + 25)/1800000) \times 100 = 2,001\%$$

Con una enmienda tradicional (20000 kg de estiércol/ha)

$$H_{\text{aportado}} = 20000 \times 55/100 \times 35/100 = 3850 \text{ kg}$$

$$H_{\text{final}} = ((36000 + 3850)/1800000) \times 100 = 2,21\%$$

Es evidente que estas sustancias húmicas tan diversas y complejas cuyos efectos están muy condicionados a distintas circunstancias, precisan de un

adecuado asesoramiento por personal técnico debidamente cualificado para lograr una utilización eficiente de las mismas.

No obstante, en base a la distinta composición estructural y características de los AF y AH, y teniendo en cuenta la gran complejidad del sector comercial, deben de seleccionarse aquellos productos más adecuados para el objetivo que se persiga. Así, en aplicaciones foliares, los productos a base de AF serán más interesantes que aquellos en los que predomine la fracción de AH.

En cambio, en las aplicaciones al suelo a través de sistemas de riego localizado, los productos más adecuados deben contener cierta proporción de ácidos húmicos de peso molecular intermedio para favorecer las condiciones estructurales del suelo, y también una cierta cantidad de ácidos fúlvicos para propiciar la movilidad de los microelementos y su absorción por las raíces de los vegetales.

CRITERIOS PARA LA ELECCIÓN DE ENMIENDAS ORGÁNICAS

1. Calcular el coste de una determinada cantidad de enmienda (100 kg).
2. Calcular la materia seca.
3. Obtener el valor económico de los elementos fertilizantes: N, P y K.
4. Restar al coste del producto el valor como fertilizante.
5. Calcular el coste de la unidad de los componentes orgánicos.
6. Elegir el producto orgánico que presente el coste más bajo de kg de humus

$$\text{COSTE 1 KG HUMUS} = \frac{\text{COSTE 1000 KG} - \text{VALOR DEL FERTILIZANTE}}{\text{RENDIMIENTO HUMUS}}$$

Ejemplo: Materia seca 55%, materia orgánica 30%, N 1,8%, P 2,3%, K 0,9%, 4 ptas/kg, $K_1 = 35\%$

$$\begin{array}{rcl} \text{Valor de U.F. = N: } 1000 \times 55/100 \times 1,8/100 \times 55 & = & 544 \\ & \text{P}_2\text{O}_5: & = 910 \\ & \text{K}_2\text{O}: & = \underline{356} \\ & & 1.810 \text{ ptas.} \end{array}$$

$$\text{Humus: } 1000 \times 55/100 \times 1,8/100 \times 55 = 192$$

$$(4000 - 1810)/192 = 11,4 \text{ ptas/kg humus estiércol}$$

BIBLIOGRAFIA

- BROWNELL, J.R., NORDSTROM, G., MARIHART, J., JORGESSEN, G., 1987. *Crop responses from two new leonardite extracts*. The Science of the Total Environment, 62: 491-499.
- LABRADOR, J., 1996. *La Materia Orgánica en los Agrosistemas*. MAPA-Mundi Prensa, Madrid.
- POMARES, F., 1997. *Valor agronómico del compost de residuos sólidos urbanos*. Jornadas de Debate sobre Residuos Sólidos en la Huerta de Valencia.
- POMARES, F., 1997. *Aprovechamiento de los lodos de depuradora como abono en agricultura*.
- POMARES, F., TARAZONA, F., 1988. *The effects of humic acids on yield and nutrient content of potatoes*. International Symposium Humus et Planta IX, Praga 22-26 Agosto.
- SAÑA, J., MORE, J.C., COHI, A., 1996. *La Gestión de la Fertilidad de los Suelos*. MAPA.
- SÁNCHEZ-ANDREU, J., JORDA, J., JUAREZ, M., 1994. *Humic substances: incidence on crop fertility*. Acta Horticulturae 357: 303-313.
- VAUGHAN, D., MALCOLM, R.E., 1985. *Soil Organic Matter and Biological Activity*. Martinus Nighoff/Dr. W. Junk Publishers.
- WEBB, P.G., BIGGS, R.H., 1988. *Effects of humate amended soils on the growth of citrus*.